

# 稻麦轮作条件下菌渣还田对土壤剖面养分分布的影响

胡佳<sup>1</sup>, 闫锐<sup>1</sup>, 费建波<sup>1</sup>, 张春龙<sup>1</sup>, 李瀚<sup>1</sup>, 邓良基<sup>1,2</sup>, 邓欧平<sup>1,2</sup>

(1. 四川农业大学 资源环境学院, 四川 成都 611130; 2. 四川省土壤环境保护重点实验室, 四川 成都 611130)

**摘要:** [目的] 揭示菌渣还田提升耕地土壤质量的机理, 以为种植业固体废弃物的资源化利用提供理论依据。[方法] 以成都平原稻麦轮作区为研究对象, 进行为期 1 a 的田间小区试验。共设置常规化肥 (CF)、等氮量还田 ( $T_1$ )、1.5 倍氮量还田 ( $T_2$ )、2 倍氮量还田 ( $T_3$ ) 和 2.5 倍氮量还田 ( $T_4$ ) 5 个处理; 分别在水稻种植期和小麦种植期采集 0—15 cm、15—30 cm、30—50 cm 土层土样, 对土壤样品的全量养分进行测定。[结果] (1) 化肥施用或菌渣还田后, 0—15 cm 土层养分含量显著高于 15—50 cm 土层 ( $p < 0.05$ ); (2) 不同处理下土壤养分的变化与常规施肥 (CF) 相比, 在水稻季土壤中,  $T_4$  处理下的土壤含有较高的全氮和全钾养分含量水平,  $T_2$ ,  $T_3$  和  $T_4$  能有效提高全磷养分含量; 在小麦季土壤中,  $T_4$  能有效提高土壤全氮、全磷含量, 全钾在不同菌渣处理条件下的含量与常规施肥相比差异不显著 ( $p < 0.05$ ); (3)  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  和  $T_4$  处理下的土壤养分含量均大致呈现出随着还田量的增加而增加的变化趋势。[结论] 高量菌渣还田能有效提高土壤全氮、全钾、全磷养分含量, 中量菌渣还田能有效提高全磷含量。

**关键词:** 稻麦轮作; 菌渣还田; 土壤剖面; 土壤养分分布

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)06-0030-06

中图分类号: S158

## Effects of Fungus Waste Recycling on Soil Profile Nutrient Distribution Under a Rice-Wheat Rotation

HU Jia<sup>1</sup>, YAN Rui<sup>1</sup>, FEI Jiangbo<sup>1</sup>, ZHANG Chunlong<sup>1</sup>,

LI Han<sup>1</sup>, DENG Liangji<sup>1,2</sup>, DENG Ouping<sup>1,2</sup>

(1. College of Resources and Environment, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130,

China; 2. Key Laboratory of Soil Environmental Protection in Sichuan Province, Chengdu, Sichuan 611130, China)

**Abstract:** [Objective] Soil quality improvement by recycling of fungus waste was researched to provide theoretical basis for the utilization of solid wastes produced by farming. [Methods] Field experiments were carried out in a rice-wheat rotation field in the Chengdu plain for one year. Of which five levels were designed including regular fertilizer (CF), 50% fungus waste recycling ( $T_1$ ), 100% fungus waste recycling ( $T_2$ ), 150% fungus waste recycling ( $T_3$ ) and 200% fungus waste recycling ( $T_4$ ). Soil samples from 0—15 cm, 15—30 cm, 30—50 cm soil layers were collected and soil nutrients were measured. [Results] (1) Either for fungus waste or regular fertilizer, full amount nutrients in 0—15 cm soil layer were significantly greater than that in 15—30 cm ( $p < 0.05$ ); (2) As compared with the regular fertilizer of no fungus recycling (CF), the rice field experiment showed that TK and TN contents were improved in level  $T_4$ ; TP content was improved in the levels of  $T_2$ ,  $T_3$  and  $T_4$ . The wheat field showed that, TN content and TP content were increased under  $T_4$  level; Levels of  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  had higher but not significant TK content in contrast with the values of regular fertilizer ( $p < 0.05$ ); (3) Soil nutrients content increased as the fungus waste recycling levels increased ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ). [Conclusion] Contents of TN, TP and TK can be improved when high level of fungus is recycled as fertilizer; TP content can be increased when medium level of fungus is recycled.

**Keywords:** rice-wheat rotation; fungus waste recycling; soil profile; soil nutrient distribution

收稿日期: 2014-11-11

修回日期: 2014-12-09

资助项目: “十二五”国家科技支撑计划项目“西南地区种养业废弃物循环利用技术集成与示范”(2012BAD14B18)

第一作者: 胡佳(1990—), 女(汉族), 四川省广元市人, 硕士研究生, 主要研究方向为土地资源管理。E-mail: 1044381627@qq.com。

通信作者: 邓欧平(1987—), 女(汉族), 四川省泸县人, 硕士, 助教, 主要从事农田生态和水土资源管理方面的研究。E-mail: 182338008@qq.com。

成都平原有着悠久的食用菌种植史。近年来,食用菌种植规模有了较大增长,2000 年在全国 32 个省、市、自治区中,四川省食用菌种植规模位居第 4<sup>[1]</sup>;2005 年四川省食用菌年产量达到了  $6.78 \times 10^5$  t,产值 27.13 亿元,雄居西部之首<sup>[2]</sup>。2006 年,该省食用菌总产量与总产值分别达到  $8.02 \times 10^5$  t 和 30.8 亿元。菌渣是食用菌收获后剩下的含大量有机质和氮、磷、钾等营养成分的栽培废料,是可再生资源,但大量菌渣的堆积,不仅影响村容镇貌,也污染环境,严重制约了农业的可持续发展<sup>[3-4]</sup>,因此菌渣的利用处理是一个亟待解决的问题。近年来,有关研究<sup>[5-6]</sup>表明,菌渣作为有机肥还田能提升耕地土壤有机质含量和养分含量,但是研究稻麦轮作机制下,菌渣还田对土壤剖面养分分布的影响还鲜有报道。因此,本研究于 2009—2010 年在成都平原区进行小区试验,通过设置不同的施肥处理方式,研究稻麦轮作条件下,菌渣还田对土壤剖面养分分布的影响,揭示菌渣还田提升耕地土壤质量的机理,以期为种植业固体废弃物的资源化利用提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 采样区概况

试验地位于四川省成都市大邑县韩场镇(103°41′42.9″N,30°27′22.5″E),平均海拔 469.1±5.6 m。大邑县位于成都平原西部,属于热带季风性湿润气候,温暖湿润,热量充足,降水充沛,四季分明。境内年平均气温为 16.0℃(平地区),无霜期多年平均为 284 d,年平均降水量在 1 098.2 mm 左右,降水多集中在 7—8 月份。该地区土壤类型多样,以水稻土分布范围最广,主要作物包括水稻、小麦、油菜、玉米、食用菌等。成土母质主要为岷江河流域灰色冲积物的潴育型水稻土。

1.2 试验材料

水稻种植品种为冈优 188,于 2009 年 5 月 15 日移栽,9 月 1 日收获;小麦品种为蓉麦 2 号,2009 年 10 月 27 日播种,翌年 5 月 4 日收获。菌渣及无机肥菌废料为稻草—牛粪配方种植的双孢蘑菇后的菌废料,为当年 4 月份采完最后一茬菇后下架的,其养分状况详见表 1。复合肥 N 含量 14%, $P_2O_5$  含量 5%, $K_2O$  含量 6%;氮肥 N 含量 17.1%;磷肥  $P_2O_5$  含量 12.0%;钾肥  $K_2O$  含量为 60%。

表 1 供试菌渣养分含量				g/kg
项目	有机质	全钾	全磷	全氮
水稻	382.10	2.47	0.61	16.20
小麦	466.80	11.80	1.70	8.70

1.3 采样方案

在田间共设置 20 个小区,4 个区组,小区面积均为 5 m×6 m,随机排列,小区之间筑土埂,并且用 6 丝的薄膜相互间隔至犁底层,其中包括 5 个处理,分别为常规施肥(CF);等氮量菌渣还田处理( $T_1$ ,施用菌渣含氮量与 CF 处理相等,其下处理依次类推);1.5 倍氮量菌渣还田处理( $T_2$ );2 倍氮量菌渣还田处理( $T_3$ );2.5 倍氮量菌渣还田处理( $T_4$ )。每个处理设置 4 个重复。根据当地水稻(小麦)种植的施肥习惯,在水稻季,除 45 g/hm<sup>2</sup> 的钾肥在水稻扬花前施用外,其余无机肥在水稻移栽后立即施入各小区,而秸秆和菌渣在水稻移栽 4 d 后施入;在小麦季,除稻秆外所有肥料均在小麦播种前施入各小区,而稻秆则是在小麦播种后施入,所有肥料的施用均为表施。采样时,每一采样点在直径 10 m 的范围内选择 3~5 个点,取土壤剖面深度为 0—15 cm,15—30 cm,30—50 cm 的土样分别混合,按照四分法每层取样进行分析。各处理具体施肥方案详见表 2。

表 2 试验方案设计								kg/hm <sup>2</sup>
处理	水稻				小麦			
	菌渣	N	$P_2O_5$	$K_2O$	菌渣	N	$P_2O_5$	$K_2O$
CF	—	82.9	15	18	—	163.02	26.33	31.6
$T_1$	9 533	82.94	16.21	17.16	10 063	163.02	6.15	24.87
$T_2$	14 300	124.41	24.31	25.74	15 094	244.53	9.22	37.30
$T_3$	19 067	165.88	32.41	34.32	20 126	326.04	12.30	49.73
$T_4$	23 833	207.35	40.52	42.90	25 157	407.55	15.37	62.16

1.4 土壤样品测定

在试验布设前采集耕层土壤样品,测定土壤理化性质。其理化性质详见表 3。土壤样品采回后,装入塑料袋,在 0~4℃ 冰箱中进行保存,测定之前取出风

干。土壤有机质采用重铬酸钾外加热法测定;土壤全氮采用半微量开氏法测定;土壤全磷采用 NaOH 熔融—钼锑抗比色法测定;土壤全钾采用 NaOH 熔

融—火焰光度法测定;土壤有机质采用重铬酸钾容量法<sup>[7]</sup>;土壤碱解氮采用碱解扩散法测定;土壤有效磷采用 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 浸提—钼锑抗比色法测定;

土壤速效钾采用 NH<sub>4</sub>OAc 浸提—火焰光度法测定<sup>[8]</sup>。采用 Excel 软件对数据进行整理和作图,并用 DPS V6.55 版软件进行统计分析。

表 3 试验田土壤基本理化性质

pH 值	容重/ (g · cm <sup>-3</sup> )	有机质/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全钾/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g · kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	有效磷/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	碱解氮/ (mg · kg <sup>-1</sup> )
6.85	1.13	57.90	21.20	1.05	2.90	270.47	20.36	124.92

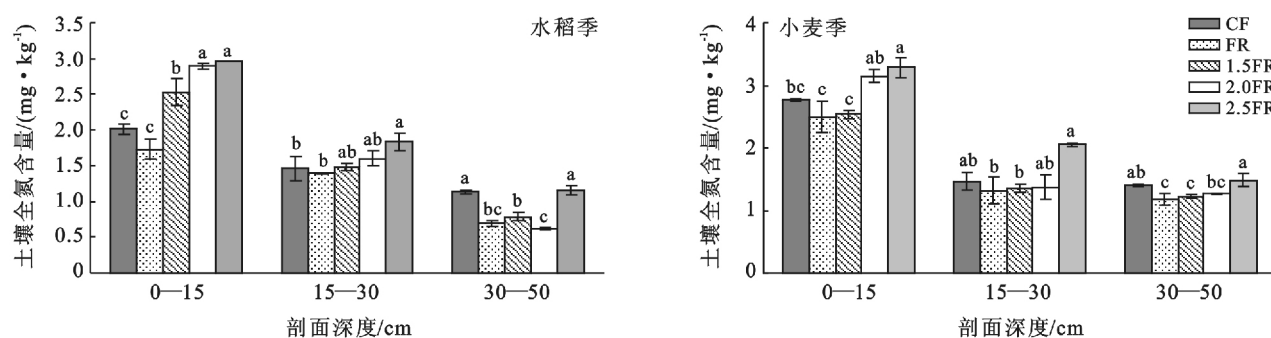
## 2 结果与讨论

### 2.1 稻麦轮作下菌渣还田对土壤剖面全氮分布的影响

2.1.1 土壤全氮在土壤剖面中的分布特征 图 1 为不同菌渣施用水平下水稻季和小麦季土壤中的全氮变化。由图 1 可以看出,水稻季施用菌渣后,各处理土壤全氮含量均随剖面深度的增加呈持续下降的变化趋势,最高值为 2.96 g/kg,出现在 2.5 倍氮量还田(T<sub>4</sub>)处理下 0—15 cm 剖面深度;最低值为 0.62 g/kg,出现在 2 倍氮量还田(T<sub>3</sub>)30—50 cm 剖面深度。小麦季各处理表现出同样的趋势,其最大值为 3.28 g/kg,出现在 2.5 倍氮量还田(T<sub>4</sub>)处理下 0—15 cm 剖面深度;最小值为 1.22 g/kg,出现在 1.5 倍氮量还田(T<sub>3</sub>)处理下 30—50 cm 剖面深度,土壤全氮在剖面中垂直变化的趋势是从上到下逐渐降低,这一研究结果与熊汉锋<sup>[9]</sup>的研究结果一致。

2.1.2 不同施肥处理对土壤全氮分布的影响 由图

1 可见,水稻季土壤在剖面深度为 0—15 cm 时,不同施肥处理条件下土壤中的全氮含量呈现出:T<sub>4</sub>>T<sub>3</sub>>T<sub>2</sub>>CF,与 CF 相比,T<sub>4</sub>,T<sub>3</sub> 和 T<sub>2</sub> 处理下的全氮含量增幅分别为 47.26%,43.78%和 25.87%,均显著高于 CF( $p<0.05$ );在 15—30 cm 土层中,与 CF 相比,T<sub>4</sub>,T<sub>3</sub> 和 T<sub>2</sub> 增幅分别为 26.03%,9.59%和 1.37%,T<sub>4</sub> 处理显著高于 CF 处理( $p<0.05$ );在 30—50 cm 土层中,只有 T<sub>4</sub> 处理下的土壤全氮含量高于 CF 处理,增幅为 2.59%。即水稻季土壤中,在 0—30 cm 土层深度时,中高量菌渣还田(T<sub>2</sub>,T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub>)处理下的土壤全氮含量大于或等于化肥施用条件下的土壤全氮含量,在剖面深度为 30—50 cm 时,只有高量菌渣还田(T<sub>4</sub>)能达到与化肥施用相当的土壤含氮水平,造成这种现象的原因是由于只施用常规化肥的情况下,土壤中的有机质相对较少,对氮素的固定作用较弱,大量氮素随土壤水运动到下层土壤,使得大量的氮素在 30—50 cm 土层中积累。



注:不同小写字母表示各处理间差异显著( $p<0.05$ )。下同。

图 1 不同菌渣施用水平下水稻季和小麦季土壤中全氮变化

小麦季土壤在剖面深度为 0—15 cm 时,各种施肥处理条件下的土壤全氮含量表现出:T<sub>4</sub>>T<sub>3</sub>>CF>T<sub>2</sub>>T<sub>1</sub>,与 CF 相比,T<sub>4</sub> 和 T<sub>3</sub> 的增幅分别为 18.41%和 13.36%,即小麦季土壤在高量菌渣还田(T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub>)处理下均能达到与化肥施用相当的含氮水平,但只有 T<sub>4</sub> 处理下的土壤全氮含量显著高于常规化肥处理(CF)( $p<0.05$ );在 15—30 cm 时,只有 T<sub>4</sub> 处理下的土壤全氮含量显著高于 CF 处理( $p<0.05$ ),增

幅为 39.46%;在 30—50 cm 时,亦只有 T<sub>4</sub> 处理高于 CF 处理,增幅为 4.96%,提高的并不明显。即在 0—15 cm 土层中,中高量菌渣还田(T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub>)处理高于常规化肥(CF)处理,其中高量菌渣还田(T<sub>4</sub>)能显著提高土壤中全氮含量;在 15—30 cm,30—50 cm 土层中,都只有 T<sub>4</sub> 处理能较 CF 处理提高土壤全氮含量,但是在 30—50 cm 土层中,即使是高量菌渣还田(T<sub>4</sub>)处理下的全氮含量与常规化肥处理(CF)相比提高的

也不明显,造成这种现象的原因除开单施化肥造成的土壤有机质相对较少引起外,还可能是因为小麦的根系相对较短,根系对 30—50 cm 土层的影响较小,所以这两种因素共同作用下,CF 处理下的土壤氮素在 30—50 cm 土层中大量累积。

总的来说,随着剖面深度的增加,水稻季和小麦季土壤使用的菌渣含氮量需要越来越高才能达到与化肥施用相当的土壤含氮水平,且单施化肥对土壤氮素的固定能力弱,菌渣还田可以增加土壤有机质含量<sup>[10]</sup>,加强土壤对氮素的固定能力。

## 2.2 稻麦轮作下菌渣还田对土壤剖面全磷分布的影响

### 2.2.1 土壤全磷在土壤剖面中的分布特征

图 2 为不同菌渣施用水平下水稻季和小麦季土壤中的全磷变化。由图 2 可知,水稻季土壤和小麦季土壤在施用菌渣后,各处理下土壤全磷含量随着剖面深度的增加均呈持续下降的变化趋势,水稻季和小麦季土壤中全磷含量最高值分别为 1.20 和 1.16 g/kg,均出现在高量菌渣还田( $T_4$ )处理 0—15 cm 剖面深度,最低值分别为 0.30 和 0.39 g/kg,均出现在 30—50 cm 剖面深度,说明水稻土壤在低、中量菌渣还田( $T_1, T_2, T_3$ )处理条件下磷素向下迁移的能力弱,高量菌渣还田( $T_4$ )能改变这一状况。且小麦土壤中磷素向下迁移的能力强于水稻土壤,这与连纲的研究结果相一致,磷肥施入土壤后,易被固定,迁移能力很弱<sup>[11]</sup>。人类活动强度大,作物生产量高,土壤表层枯枝落叶多是表层土壤中全磷含量高的主要原因,同时由于雨水淋溶的影响,土层中部分磷发生迁移转化流失或沉积于地層下部<sup>[12-13]</sup>。

### 2.2.2 不同施肥处理对土壤全磷分布的影响

从图 2 可以看出,水稻季土壤在剖面深度为 0—15 cm 时,不同施肥处理条件下土壤中的全磷含量呈现出: $T_4 > T_3 > T_2 > CF$ ,与 CF 相比, $T_4, T_3$  和  $T_2$  处理下的全磷含量增幅分别为 33.33%,20.00%和 17.78%,均显著高于 CF( $p < 0.05$ ),同时,菌渣的施入量与该土层土壤全磷的含量呈明显正相关关系,这可能是由于

一方面菌渣的施入有利于耕层土壤养分的累积<sup>[14]</sup>,另外,菌渣还田还增加了磷素向土壤返回的总量<sup>[15]</sup>;在 15—30 cm 土层中,不同施肥处理条件下的土壤中的全磷含量呈现出: $T_4 > T_3 > T_2 > T_1 > CF$ ,与 CF 相比,增幅分别为 19.05%,9.52%,7.14%和 2.38%, $T_4$  显著高于 CF( $p < 0.05$ ),而各菌渣还田处理间的土壤全磷含量并没有显著性差异( $p < 0.05$ );在 30—50 cm 土层中,与 CF 相比较, $T_1, T_2, T_3, T_4$  均能显著提高土壤中的全磷含量( $p < 0.05$ ),增幅分别为 36.67%,33.33%,26.67%和 33.33%,但是各菌渣还田处理间的全磷含量仍然没有显著性差异( $p < 0.05$ )。出现这种变化趋势的原因是菌渣还田能够增加土壤中有机质的含量,改善土壤状况,减少对磷的固定,大量未被水稻吸收的磷素就会随水分运动到下层土壤中,然而在下层土壤中,土壤有机质相对较少,磷素又被重新固定,从而大量积累下来。

小麦季土壤在剖面深度为 0—15 cm 时,土壤中的全磷含量呈现出: $T_4 > T_3 > CF$ ,增幅分别为 5.45%和 2.73%,差异并不显著( $p < 0.05$ );在 15—30 cm 土层中,不同施肥处理下的土壤全磷含量呈现出: $T_4 > T_3 > T_2 > CF > T_1$ ,与 CF 相比, $T_4, T_3, T_2$  的增幅分别为 25.86%,20.69%和 5.67%,其中,中高量菌渣还田处理( $T_3, T_4$ )全磷含量显著高于常规化肥处理 CF( $p < 0.05$ );在 30—50 cm 土层中,不同施肥处理下的土壤全磷含量呈现出: $T_4 > T_3 > CF > T_2 > T_1$ ,与 CF 相比, $T_4, T_3$  的增幅分别为 22.22%和 15.56%, $T_4$  处理全磷含量显著高于 CF( $p < 0.05$ );在 0—50 cm 土层中,全磷含量均随着菌渣还田量的增加而增加。产生这种现象的原因是小麦根系较短,加之高量菌渣还田能有效提高土壤中的有机质含量,减少表层土壤对磷素的吸附,磷素下渗<sup>[16]</sup>。在 30—50 cm 土层中,根系对土壤的作用降低,减少了土壤中有机质的含量,加强了对磷素的固定,因而  $T_4$  处理下的 30—50 cm 土层中全磷含量较之于化肥处理下的含量显著提高。

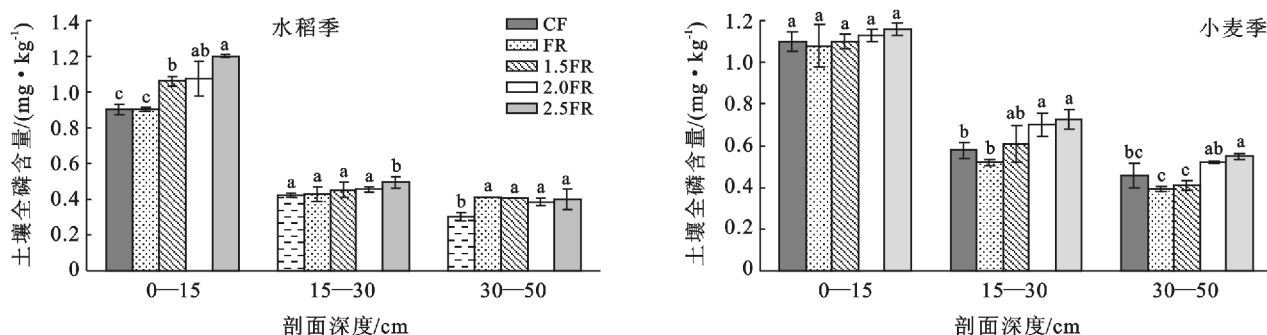


图 2 不同菌渣施用水平下水稻季和小麦季土壤中全磷变化

## 2.3 稻麦轮作下菌渣还田对土壤剖面全钾分布的影响

**2.3.1 土壤全钾在土壤剖面中的分布特征** 图 3 为不同菌渣施用水平下水稻季和小麦季土壤中的全钾变化。由图 3 可以看出,水稻季土壤施用菌渣后,各处理下土壤全钾含量均随着剖面深度的增加呈先增后降的单峰变化趋势,最高值均出现在 15—30 cm 剖面深度,最低值除开  $T_2$  处理时出现在 30—50 cm 剖面深度,其余 4 种处理均出现在 0—15 cm 剖面深度。小麦季土壤中全钾的含量除开在常规施肥处理(CF)条件下随着土壤剖面深度的增加而升高外,其余 4 种处理下均随着剖面深度的增加均呈先增后降的单峰变化趋势,最高值均出现在 15—30 cm 剖面深度,最低值均出现在 0—15 cm 土层深度。

**2.3.2 不同施肥处理对土壤全钾分布的影响** 由图 3 可以看出,水稻季土壤在剖面深度为 0—15 cm 时,不同施肥处理条件下土壤中的全钾含量呈现出: $T_4 > T_3 > T_2 > CF > T_1$ ,与 CF 相比, $T_4$ ,  $T_3$ ,  $T_2$  处理下的全钾含量增幅分别为 8.97%, 6.21% 和 4.49%,  $T_4$ ,  $T_3$ ,  $T_2$ ,  $T_1$  与 CF 的差异均不显著( $p < 0.05$ ),但是高量菌渣还田处理( $T_4$ )显著高于低量菌渣还田处理( $T_1$ );在土壤剖面深度为 15—30 cm 时,不同施肥处理条件下土壤中的全钾含量呈现出: $T_4 > T_3 > T_2 > CF > T_1$ ,与 CF 相比, $T_4$ ,  $T_3$ ,  $T_2$  处理下的全钾量增幅分别为 5.06%, 1.06% 和 0.57%;在土壤剖面深度为 30—50 cm 时,呈现出: $T_4 > T_3 > CF > T_2 >$

$T_1$ ,与 CF 相比, $T_4$  和  $T_3$  处理下的全钾量增幅分别为 4.75% 和 1.39%,即在土壤剖面深度为 0—15 cm 中高量菌渣还田( $T_2$ ,  $T_3$  和  $T_4$ )处理高于常规化肥处理,15—30 cm 时,中高量菌渣还田( $T_2$ ,  $T_3$ )处理相当于常规化肥处理,高量菌渣还田( $T_4$ )处理高于常规化肥处理,土壤深度为 30—50 cm 时, $T_3$  处理相当于常规化肥处理, $T_4$  处理高于常规化肥处理。在不同土层深度,各菌渣还田处理下的土壤全钾含量均呈现出随菌渣施用量的提高而增加的变化趋势,且在 0—15 cm 土层深度时, $T_4$  处理显著高于  $T_1$  ( $p < 0.05$ )。

小麦季土壤中,在土壤剖面深度为 0—15 cm 时,土壤中的全钾含量表现出: $T_4 > T_3 > T_2 > CF > T_1$ ,与 CF 相比, $T_4$ ,  $T_3$ ,  $T_2$  处理下的全钾量增幅分别为 5.06%, 2.48% 和 0.37%;在土壤剖面深度为 15—30 cm 时,不同施肥处理条件下土壤中的全钾含量呈现出: $T_4 > T_3 > T_2 > T_1 > CF$ ,  $T_4$ ,  $T_3$ ,  $T_2$  和  $T_1$  处理下的全钾量增幅分别为 3.81%, 1.95%, 1.60% 和 0.18%;在土壤剖面深度为 30—50 cm 时,表现为: $T_4 > T_3 > CF > T_2 > T_1$ ,与 CF 相比, $T_4$ ,  $T_3$  处理下的全钾量增幅分别为 0.70% 和 0.62%。即在土壤剖面深度为 0—30 cm 时, $T_2$ ,  $T_3$  和  $T_4$  均能达到与化肥施用条件下相当的含钾水平,深度为 30—50 cm 时,只有  $T_3$  和  $T_4$  才能达到。在不同土层深度各菌渣还田处理下的土壤全钾含量差异均不显著( $p < 0.05$ )。

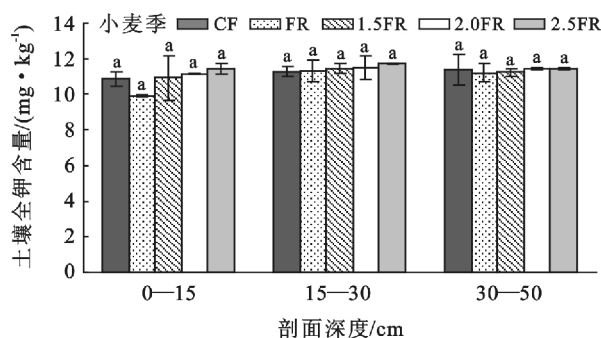
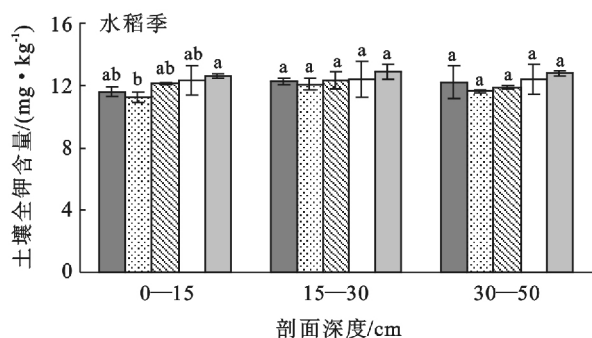


图 3 不同菌渣施用水平下水稻季和小麦季土壤全钾变化

## 3 结论

(1) 不同施肥处理下的水稻季和小麦季土壤中的全氮含量在表层(0—15 cm)土壤中显著高于深层(15—30 cm, 30—50 cm)土壤( $p < 0.05$ )。土壤的全氮含量随着土层深度的增加逐渐降低,一定范围内增加施用的菌渣含量,能有效提高较深层土壤的全氮含量;在小麦季 15—50 cm 深度的土壤中只有高量菌渣还田处理( $T_4$ )能达到和化肥相当的土壤含氮水平,而

在 15—50 cm 深度的水稻土壤中,中、高量菌渣还田均能达到。

(2) 水稻季和小麦季土壤中的全磷含量均在 0—15 cm 土层中达到最高,但是只有在常规施肥(CF)和高量菌渣还田( $T_4$ )处理条件下的 15—30 cm 土层中的全磷含量才显著高于 30—50 cm 剖面土壤( $p < 0.05$ )。菌渣的施入量与 0—30 cm 土层土壤全磷的含量呈明显的正相关关系;在小麦季 30—50 cm 深的土壤中只有高量菌渣还田处理能达到和化肥相当的

土壤含磷水平,而在30—50 cm深度的水稻土壤中低、中、高量菌渣还田均能达到。

(3) 水稻季土壤施用菌渣后,各处理下土壤全钾含量均随着剖面深度的增加呈先增后降的单峰变化趋势,除开在水稻季土壤0—15 cm土层深度中, $T_4$ 处理显著高于 $T_1$  ( $p < 0.05$ ),其他不同施肥处理在各剖面深度的土壤全钾含量差异均不显著 ( $p < 0.05$ )。

#### [参考文献]

- [1] 苏安祥. 中国食用菌产业现状与发展趋势[J]. 农产品加工: 创新版(中), 2013(11): 56-57.
- [2] 郑林用, 罗霞, 贾定洪, 等. 四川食用菌产业现状及发展方向探析[J]. 中国食用菌, 2008, 27(1): 55-59.
- [3] 申进文, 沈阿林, 张玉亭, 等. 平菇栽培废料等有机肥对土壤活性有机质和土壤酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(4): 631-636.
- [4] 张秀珍, 刘秉儒, 章家恩, 等. 施用双孢蘑菇菌渣条件下不同开垦年限土壤理化性质与养分特征变化[J]. 中国农学通报, 2012, 28(15): 78-82.
- [5] 陈庆榆, 黄守程, 姚政. 蚯蚓和食用菌废渣对土壤的综合改良作用[J]. 中国林副特产, 2008(4): 24-25.
- [6] 冯德庆, 黄勤楼, 黄秀声, 等. 菌渣对水稻生长性状、产量及土壤肥力的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012(1): 74-77.
- [7] 牛永琦, 陈兰生. 土壤有机质测定方法的进展[J]. 干旱

环境监测, 1998(2): 97-100.

- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [9] 熊汉锋. 梁子湖湿地土壤—水—植物系统碳氮磷转化研究[D]. 湖北 武汉: 华中农业大学, 2005.
- [10] 王世强, 杨敏, 叶长林. 食用菌废料快速发酵转化有机肥条件的探讨[J]. 中国食用菌, 2008(6): 21-23.
- [11] 连纲, 王德建, 林静慧, 等. 太湖地区稻田土壤养分淋洗特征[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1879-1883.
- [12] 赵斌, 吴献花, 吴斌, 等. 不同土地利用类型下土壤养分在土壤剖面中的分布特征[J]. 安徽农业科学, 2012, 39(36): 22405-22407.
- [13] 李娟, 彭金灵, 康娟, 等. 减施氮肥对稻田土壤剖面养分分布特征的影响[J]. 热带作物学报, 2012, 33(8): 1378-1383.
- [14] 温广蝉, 叶正钱, 王旭东, 等. 菌渣还田对稻田土壤养分动态变化的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 82-86.
- [15] 谭德水, 金继运, 黄绍文, 等. 不同种植制度下长期施钾与秸秆还田对作物产量和土壤钾素的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(1): 133-139.
- [16] 胡杨勇, 马嘉伟, 叶正钱, 等. 稻麦轮作制度下连续菌渣还田对土壤肥力性状的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(6): 172-176.

(上接第29页)

#### [参考文献]

- [1] Abbona E A, Sarandon S J, Marasas M E, et al. Ecological sustainability evaluation of traditional management in different vineyard systems in Berisso, Argentina [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2007, 119(3): 335-345.
- [2] Monteiro A, Lopes C M. Influence of cover crop on water use and performance of vineyard in Mediterranean Portugal [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2007, 121(4): 336-342.
- [3] 杨青森, 郑粉莉, 温磊磊, 等. 秸秆覆盖对东北黑土区土壤侵蚀及养分流失的影响[J]. 水土保持通报, 2011, 31(2): 1-6.
- [4] 孙博, 解建仓, 汪妮, 等. 秸秆覆盖对盐渍化土壤水盐影响的试验研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(3): 48-51.
- [5] 李明, 崔世茂, 王怀栋. 不同地表覆盖对温室黄瓜根际土壤微生物和养分变化的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 173-177.
- [6] 杨崑, 杨丽娟, 常青, 等. 不同秸秆用量对保护地黄瓜产量及土壤养分的影响[J]. 北方园艺, 2011(6): 46-48.
- [7] 翟胜, 梁银丽, 张秀省, 等. 地表覆盖对温室黄瓜品质、水分利用效率及土壤环境的影响[J]. 农业工程学报,

2008, 24(3): 65-71.

- [8] 李会科, 张广军, 赵政阳, 等. 黄土高原旱地苹果园生草对土壤养分的影响[J]. 园艺学报, 2007, 34(2): 477-480.
- [9] 李明, 崔世茂, 王怀栋, 等. 滴灌条件下地表覆盖厚度对黄瓜根系生长因子的影响[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(2): 40-43.
- [10] 吴忠红, 周建斌. 山西设施栽培条件下土壤理化性质的变化规律[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(5): 136-140.
- [11] 张桂玲. 秸秆腐熟物覆盖对板栗园土壤微生物、养分含量和产量的影响[J]. 果树学报, 2012, 29(6): 1057-1062.
- [12] 彭娜, 王凯荣, 王开峰, 等. 不同水分条件下施用稻草对土壤有机酸和有效磷的影响[J]. 土壤学报, 2006, 43(2): 347-351.
- [13] 周云龙. 植物生物学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 77-90.
- [14] 周茂娟. 地面覆盖和水分对温室辣椒生理特性及土壤环境的影响[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
- [15] 翟胜, 梁银丽, 王巨媛, 等. 地表覆盖对日光温室黄瓜生长发育及生理特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(2): 73-77.